

DVD・CD 互換光学系の開発

DVD・CD compatible optics for DVD Optical Pick-up

八木 克哉*

Yagi, Katsuya

DVD (Digital Video Disc) is a new generation, large capacity optical disc. To achieve higher recording density, it employed a short wavelength laser, a high NA objective lens and a thin substrate of disc. To enable the backward compatibility, the DVD-player is required to read both the 0.6mm thick DVD and the 1.2mm thick CD. We developed two types of the compatible optics.

One is a Zoom type, by moving the collimate lens. The other is a Single Aperture type, by using a special objective lens which suits the different disc thickness.

1 はじめに

次世代光記録メディアとして期待を集めている DVD (デジタルビデオディスク) は、従来の CD と同じディスクサイズで片面 4.7 GB の記録容量を持ち、1996 年末プレーヤーと合わせ発売された。

これら DVD プレーヤーでは、ソフト資産継承の為、既に広く普及している CD や CD-ROM も再生できることが要求された。この CD 互換再生機能達成のポイントは、仕様の異なるディスクの情報を読み取る DVD・CD 互換光ピックアップの開発にあった。

ここでは、第一世代 DVD プレーヤーに採用されたいくつかの互換方式、及び今回当社で開発した二つの互換方式について紹介する。

2 DVD ディスクと CD の互換再生

2.1 DVD ディスクの概要

Table 1 に、DVD 規格と CD 規格の主な仕様の比較を示す。

DVD では高密度化を図るため、トラックピッチ、最短ピット長共に CD と比べ半分以下に短縮している。このため、DVD を再生するにはディスク上での集光スポット径を CD に比べて小径化する必要がある。

Table 1 Specifications for DVD and CD

	DVD *	CD
Disc diameter	12/8cm	12/8cm
Disc thickness	0.6mm×2	1.2mm
Track pitch	0.74 μm	1.6 μm
Shortest pit length	0.40 μm	0.87 μm
Linear velocity	3.49m/s	1.25m/s
Laser wavelength	635/650nm	780nm
Objective lens NA	0.60	0.45
Disc capacity	4.70GB	0.68GB

* Single-sided, single-layer, read-only disc

* オプト事業部 光学開発センター

レーザー光をレンズで集光させたときの集光スポットの大きさは、 λ/NA に比例する。ここで、 λ はレーザー光の波長、NA はディスクにレーザー光を集光する対物レンズの開口数である。従って、レーザー光源の短波長化と対物レンズの高 NA 化を行えば、集光スポットを小さくでき高容量化が可能となる。DVD 規格では、波長を現在短波長半導体レーザーとして実用化できる 635 nm あるいは 650 nm に短くし、対物レンズの NA は CD の 0.45 から 0.60 に拡大している。この組み合わせにより、DVD 用光ピックアップではスポット径を $\phi 0.9 \mu m$ ($1/e^2$) 以下に集光することができる。

しかし、対物レンズの NA を大きくすると、ディスクが傾いたときのコマ収差の発生が大きくなり再生性能が劣化するというデメリットが生じる。コマ収差は基板の厚みに比例するため、DVD では基板厚みを現行 CD の半分である 0.60 mm の薄形ディスクとし、ディスクの傾きによるコマ収差の発生を小さく抑えている。

2.2 CD の互換再生

ディスク基板厚みを薄くすることで、コマ収差の発生を小さくし大容量化が可能となったが、CD をはじめとする従来の基板厚み 1.2 mm の光ディスクとの再生互換性に問題が生じてくる。

通常光ピックアップでは、所定の屈折率と厚さを持つ基板を通してレーザー光を一点に集光できるよう、予め

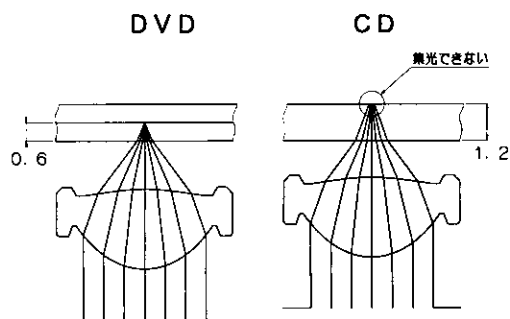


Fig. 1 Spherical aberration on the CD disc

対物レンズ側で収差の補正をしている。従って、ディスク基板の厚さが設計値と異なる場合には、Fig. 1 に示すように、レンズの中心部を通る光と周辺部を通る光の収束位置に球面収差と呼ばれるずれが生じ、レーザー光を一点に集光できなくなる。

このため、DVD用の光ピックアップでは、短波長化、高NA化に加えCD互換再生をするため工夫が必要となり、以下のような互換方式が開発されている。

(1) ツインレンズ方式

ツインレンズ方式は、DVD用とCD用の2つの対物レンズを用い、ディスクの種類に応じて使用するレンズを切り替える方式である。軸摺り回転アクチュエーターの可動部に2つの対物レンズを搭載し、可動部を回転させてレンズを切り替える (Fig. 2(a))。

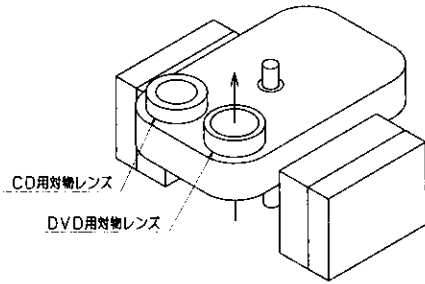


Fig. 2(a) Twin lens type

(2) 2焦点レンズ方式

2焦点方式は、光軸上の異なる位置にDVD用とCD用の2つの光スポットを同時に結ばせ、ディスクの種類に応じてアクチュエーターのフォーカス動作により使用する光スポットを切り替えて再生するものである。2つの光スポットを形成する手段として、DVD用対物レンズの片面にホログラムを形成した2焦点対物レンズを用いる方式をFig. 2(b)に示す。DVD再生にはホログラムで回折しない0次光を利用し、CD再生には回折1次光を利用する。

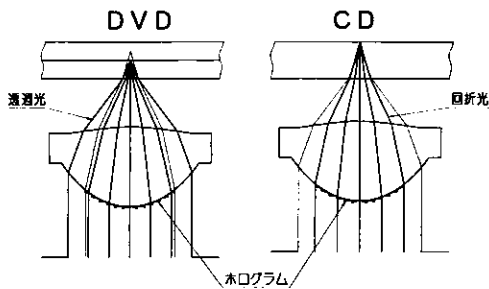


Fig. 2(b) Twin spot type

(3) 開口制限方式

ディスク基板厚の違いによって発生する球面収差はNAの4乗に比例する。このため、対物レンズの

開口を制限してレンズ周辺部を通る光をカットしNAを小さくすることで、球面収差を低減できる。光ピックアップの光路中に液晶シャッターを配置して開口を制限する方式をFig. 2(c)に示す。DVD再生時は、液晶シャッターを開いて全ての光束を対物レンズに入射させる。CD再生時は、液晶シャッターを閉じて光束の周辺部を制限しNAを小さくする。

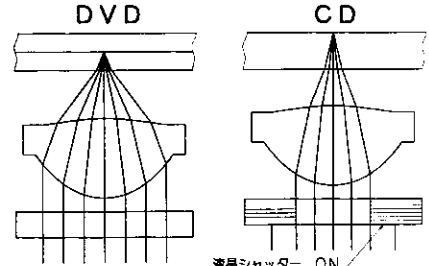


Fig. 2(c) LC shutter type

3 開発した光学系

当事業部では従来CD用を中心とした対物レンズの開発、生産を行ってきたが、対物レンズの単品開発という観点だけではDVDとCDの互換の要求を満たすには困難があることが分かった。そこで、対物レンズを含む光ピックアップ光学系全体に範囲を広げて開発を行い、以下の二種の互換光学系を開発した。

3.1 単開口方式

通常のDVD用対物レンズで1.2mm厚の基板を介してレーザー光を集光させたときの集光スポットは、中心の核となるスポット部とその周囲のフレアー部となる。また、中心の核となるスポットには大きくサイドローブ(回折一次光)が発生する。この状態でCDを再生しようとすると、この大きなサイドローブのため読取り性能が低下し、フォーカス誤差信号の特性も劣化するためフォーカス制御範囲が狭くなってしまふ。

このサイドローブの発生を抑え、フォーカス誤差信号の感度、制御範囲の中などを改良して良好なCD再生特性が得られる集光特性条件を見出だした。これをもとにCD互換DVD用対物レンズを開発した。この対物レンズによる集光スポット形状の計算値をFig. 3に示す。

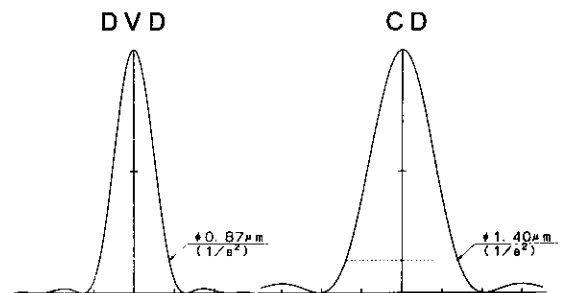


Fig. 3 Spot profile

DVD再生時の集光スポットサイズは従来と変わらず、1.2 mm厚の基板を介したCD再生のときもサイドローブの少ない良好な集光スポット形状が得られている。フォーカス誤差信号についても、CD対応時の合焦点付近での検出感度が高く、制御範囲も広がっている。Fig. 4にフォーカス誤差信号の計算値を示す。

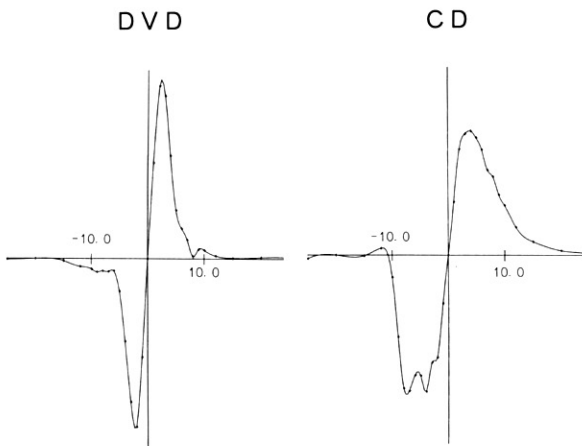


Fig. 4 Focus error signal

本方式で試作した対物レンズを搭載した光ピックアップでDVDとCDを再生したときのアイパターン（再生信号波形）をFig. 5(a)、Fig. 5(b)に示す。フォーカス誤差信号についても、計算どおりの結果が得られた。

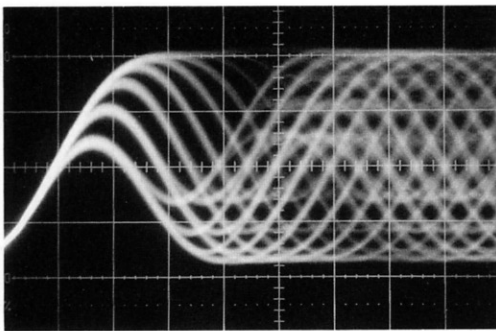


Fig. 5(a) Eye-pattern of DVD

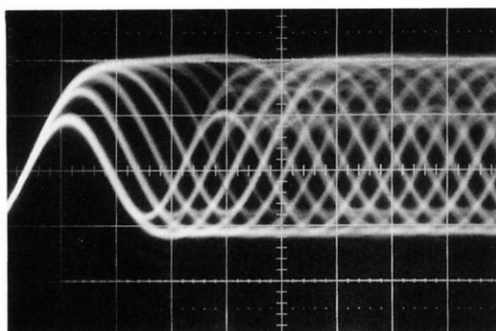


Fig. 5(b) Eye-pattern of CD

この方式の特徴は、DVD用光学系のままで特別な付加部品なくCD互換がとれることであり、小形化、低コスト化に有効である。また、レーザー光の出射効率が良く、DVD-RAMなどの記録可能タイプへの適用も可能である。

3.2 ズーム方式

ディスク基板が厚くなることによって発生する球面収差の方向は正（オーバー）である。

この方式は、対物レンズに入射する光束を平行光から発散光に切替えて対物レンズで負（アンダー）の方向の球面収差を発生させ、これを打ち消すようにしたものである。

Fig. 6(a)に、DVD再生時の光学系配置を示す。半導体レーザーより発した光束は、コリメートレンズを通して平行光束となり対物レンズに入射する。この対物レンズは、平行光束が入射するときに0.6 mm厚の基板に対して球面収差が最小となるように設計されたものであり、無収差のスポットを結像させる。

CD再生時は、Fig. 6(b)に示すように、コリメートレンズを半導体レーザー側に所定量移動させ、対物レンズに入射する光束を発散光とする。発散光を入射させることで、対物レンズで負（アンダー）の方向の球面収差が発生し、ディスク基板が厚くなることによって発生する正（オーバー）の方向の球面収差を相殺する。また、スポット径がCD再生に最適となるよう、NA 0.38程度の絞りをコリメートレンズと対物レンズの間に挿入する。

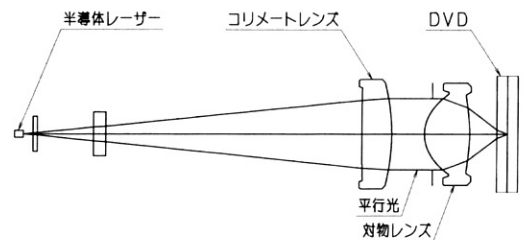


Fig. 6(a) Position for DVD

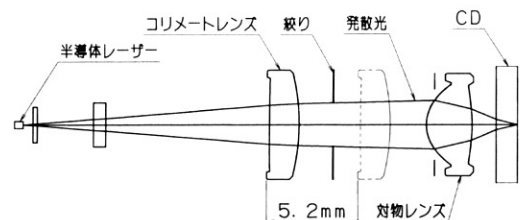


Fig. 6(b) Position for CD

基板厚み1.2 mmのときの、コリメートレンズの半導体レーザー側への移動量と、球面収差残存量との関係をFig. 7に示す。実線はCD対応のNA 0.38のとき、点線はMOディスクへの互換を可能とするNA 0.52の場合である。

球面収差が最小となるコリメートレンズの移動量は約 5.2 mm であり、NA 0.38 のときは $0.077 \lambda_{rms}$ から $0.001 \lambda_{rms}$ へ、NA 0.52 のときは $0.31 \lambda_{rms}$ から $0.008 \lambda_{rms}$ へと、共に大幅に球面収差が補正されることが分かる。

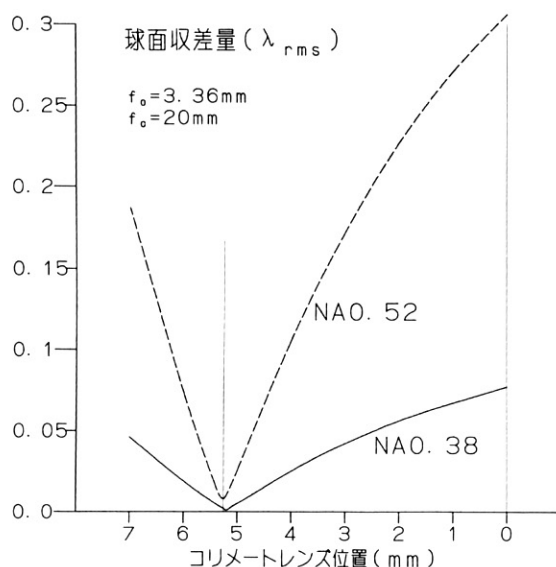


Fig. 7 Spherical aberration v.s lens position

本方式で試作した光ピックアップで DVD と CD を再生したときのアイパターンを Fig. 8(a)、Fig. 8(b) に示す。

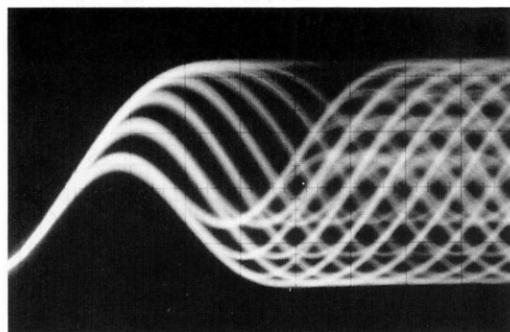


Fig. 8(a) Eye-pattern of DVD

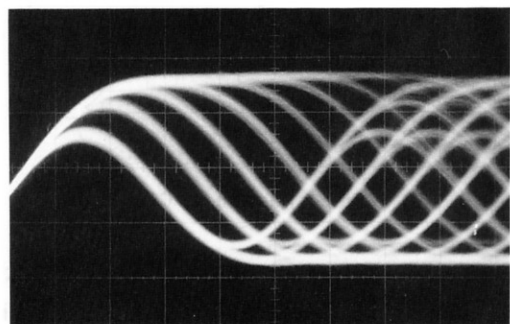


Fig. 8(b) Eye-pattern of CD

この方式の特徴は、球面収差の連続補正が可能にあることにある。これにより、

- (a) 0.6 mm 厚の DVD、1.2 mm 厚の CD のみでなく、これら以外の厚みのディスク互換
 - (b) 個々のディスク基板厚み誤差の補正
 - (c) 温度、湿度変化時に発生する収差の補正
 - (d) 光ピックアップ製造時の部品誤差の補正
- などが可能となる。

また、1.2 mm 厚のディスクに対し、NA 0.40 ~ 0.43 での使用により DVD-R、DVD-RAM と CD-R 2、CD-E、PD 等との互換が実現できる。更に大きな NA 0.45 ~ 0.52 での使用により MO ディスクに対する互換も達成できる。

4 まとめ

ディスク基板厚みの異なる DVD と CD を一つの対物レンズで再生可能な光学系を二種開発した。

“単開口方式”は、対物レンズの設計を工夫し集光特性の改善を図ったもので、CD 再生時にも開口制限が不要である。

“ズーム方式”は、駆動系を付加し半導体レーザーとコリメートレンズの間隔を変えることで球面収差の補正を行うもので、対応できる基板厚み、NA の範囲がより広い。

DVD は、再生専用タイプに続き記録可能な DVD-R、DVD-RAM の開発が進められており、大きな発展が期待される。このために、光ピックアップとして CD 互換性の達成、CD-R 対応などの互換範囲の拡大や録再対応などをより低コストに実現することが求められる。今後も、これらのニーズに答えるべく開発を行っていく所存である。

●参考文献

- 1) 中村他：“DVD 用ツインレンズ光ピックアップの開発”，信学技報 MR95-25 (1995)
- 2) 金馬他：“二焦点光ヘッド (Ⅲ)”，第 56 回応用物理学会学術講演会予稿集 No.3, 29-ZA-7, (1995)
- 3) ニュースレポート：日経エレクトロニクス、p15~16, (1996. 1. 29)